

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
ГВУЗ "ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ"**

**СТРОИТЕЛЬСТВО, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**Сборник научных трудов**

**Под общей редакцией доктора технических наук  
профессора В.И. Большакова**

**При поддержке главного управления образования и науки областной  
государственной администрации**

**Выпуск 65**

**Серия: *Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-  
гражданского, промышленного и транспортного назначения***

**Днепропетровск**

**2012**



ББК 30.3  
С86  
УДК 624(0)

*Печатается по решению Ученого совета ГВУЗ Приднепровская  
государственная академия строительства и архитектуры*

*Протокол № 1 от 30 августа 2012г.*

Согласно постановления Президиума ВАК Украины от 10.11.2010 г. №1-05/7 сборник научных трудов входит в перечень № 1 «научных фахових видань України», в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

**Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 65, -Дн-вск, ГВУЗ "ІГАСА", 2012. – 726 с. (в обл.).**

В сборник вошли статьи, освещающие актуальные вопросы диагностики и оценки технического состояния, прогноза долговечности и надежности, ремонта и восстановления конструкций зданий и сооружений жилищно-коммунального, промышленного и транспортного строительства.

**Редакционная коллегия:**

докт. техн. наук	В.И. Большаков (главный редактор)		
докт. техн. наук	Н.В. Савицкий (первый зам. гл. редактора)		
докт. техн. наук	А.Н. Бамбура		
докт. техн. наук	Р.А. Веселовский	докт. техн. наук	В.Ф. Мущанов
докт. техн. наук	Д.Ф. Гончаренко	докт. техн. наук	К.А. Пирадов
докт. техн. наук	В.С. Дорофеев	докт. техн. наук	С.Ф. Пичугин
докт. техн. наук	П.П. Лизунов	докт. техн. наук	А.Н. Пшинько
докт. техн. наук	В.С. Лесовик	докт. техн. наук	Р.Ф. Рунова
докт. техн. наук	И.И. Лучко	докт. техн. наук	А.В. Русинов
докт. техн. наук	Г.А. Молодченко	докт. техн. наук	С.И. Федоркин
докт. техн. наук	В.М. Кириос	докт. техн. наук	В.Т. Шаленный
докт. техн. наук	Л.И. Стороженко	докт. техн. наук	А.М. Ливинский
докт. техн. наук	Е.А. Егоров	докт. техн. наук	В.Л. Седин

Под общей редакцией д.т.н. профессора Большакова В.И.

Ответственный за выпуск Юрченко Е.Л.

Свидетельство (серия ДК № 8986) о внесении Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры как субъекта издательского дела в Государственный реестр издателей и распространителей издательской продукции.

© ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", 2012



УДК 691.58.668.3

# ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕЕВОЙ АНКЕРОВКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ СЕРПОВИДНОГО ПРОФИЛЯ КЛАССА А500С ОТ ТОЛЩИНЫ КЛЕЕВОГО СЛОЯ

к.т.н., проф. Золотов М.С., асп. Шишкин Э.А.,

к.т.н., доц. Скляр В.А., к.т.н., доц. Гарбуз А.О.

Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

При модернизации, ремонте и реконструкции существующих зданий и сооружений различных отраслей промышленности широко применяются полимерные клеи для соединения бетонных элементов, причем как старого бетона со старым, так и старого с новым, для заделки трещин в бетоне, а также для крепления строительных конструкций, в том числе железобетонных путем заделки арматурных выпусков и анкерных болтов в бетон для различных целей. Полимерные клеи разрешают значительно повысить прочность соединений, улучшить их динамические характеристики, защитить бетон от коррозии, проводить бетонные работы в любое время года. Склеивание бетонных и железобетонных элементов находит применение во всех областях строительства: жилом, промышленном, гидротехническом, транспортном, специальном и др.

Высокая склеивающая способность полимеров разрешает решать много инженерных задач по-новому повышая технологичность и энергосбережение строительного производства. Для создания равномерного и водонепроницаемого стыка между отдельными железобетонными элементами применяют полимерные клеевые композиции, которые позволяют соединять не только бетоны, но и заделывать арматуру в бетон. Клеи хорошо заполняют зазоры, дают возможность регулировать вязкость в широком диапазоне, быстро отвердевают и имеют высокую прочность.

Наибольшее распространение в строительстве для указанных выше целей получили клеи на основе эпоксидных смол. В работах [1, 2] рассмотренные вопросы устройства и прочности клеевых соединений, обобщенно опыт применения таких методов соединения, показано их перспективность в сравнении с традиционными способами замоноличивания стыков.

В настоящее время наиболее широкое применение получили наряду с эпоксидными акриловые клеи, поскольку они своими свойствами отвечают всем требованиям к клеям при устройстве надежных и долговечных соединений бетонных и железобетонных элементов [3, 4]. Они дешевле, технологичнее, просты и надежны в приготовлении [5, 6].

Наиболее распространенная конструкция с применением указанного материала является анкерное соединение в виде клеевой анкеровки в бетон арматурных стержней.

В связи с использованием в Украине в строительном производстве нового сортамента арматурной стали согласно ДСТУ 3760:2006 авторами были



проведены сравнительные аналитические исследования геометрических характеристик арматурных стержней классов А500С и А-III.

Несмотря на преимущества по физико-механическим свойствам арматуры класса А500С по сравнению с арматурой класса А-III она обладает более низкими параметрами сцепления. Так, высота выступов арматуры серповидного профиля в 1,04...1,48 раза меньше, а шаг выступов в 1,6...3,33 раза больше. Как следствие, величина относительной площади смятия, характеризующая сцепление арматуры с бетоном, для стержней серповидного профиля в 2,4...3,7 раза меньше, чем соответствующие значения для стержней винтового профиля.

В связи с широким применением указанного класса арматуры в строительстве были проведены экспериментальные исследования по определению прочности заделки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми клеями различных составов [4, 5] при воздействии на соединение кратковременной и длительно действующих нагрузок. Исследовалась прочность и деформативность клеевой анкеровки в зависимости от глубины заделки арматурного стержня в железобетонные образцы, которые изготавливались из бетона класса В20.

Результат этих исследований показал, что глубина заделки арматуры указанного класса в бетоне, в зависимости от состава акрилового клея, составляет  $l_{анк} = 17,5$  и  $22,5d_s$ , [7, 8, 9].

Авторами были проведены теоретические исследования напряженно-деформируемого состояния клеевой анкеровки серповидной арматуры в бетоне акриловыми клеями с использованием осесимметричной задачи теории упругости [10-12]. В результате исследований были определены напряжения и деформации как в арматуре, клее и бетоне, так и на контактах клей-анкер и клей-бетон. В связи с указанным были проведены расчетные эксперименты по определению влияния различных факторов на напряженно-деформированное состояние исследуемого анкерного соединения [11, 12]. Одним из факторов влияющих на напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурного стержня класса А500С является толщина клеевого слоя или диаметры скважины. В связи с указанным авторами проведен расчетный эксперимент по определению влияния указанных факторов на напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурного стержня класса А500С. Расчеты выполнялись в случае применения бетона класса В15 (модуль упругости  $E_b = 2,9 \cdot 10^4$  МПа) акриловый клей с пределом прочности 98,2 МПа (модуль упругости  $E_k = 14 \cdot 10^3$  МПа), серповидная арматура класса А500С ( $E_s = 1,2 \cdot 10^5$  МПа). К арматурному стержню прикладывалось единичное расчетное усиление  $\sigma_{20}$ . Геометрические характеристики анкерного соединения приведены в таблице. При этом глубина заделки арматурного стержня составляла  $l_{анк} = 17,5d_s = 35,0$  см, диаметр стержня  $d_s = 2,0$  см, толщина клеевого слоя в соответствии с нормативными требованиями изменялась от 0,5 до 5 см. Приведенные в таблице значения  $l_0$  и  $l_1$  используют-



ся в выражениях, по которым определялись напряжения и деформации в кле-  
евом соединении [10].

### Геометрические характеристики анкерного соединения

№ п/п	Диаметр арматурно- го стержня $d_s$ , см	Толщина клеевого слоя $\delta$ , см	Диаметр скважины $d_{скв}$ , см	Величина отношений	
				$l_0 = \frac{l_{анк}}{r_s}$	$l_1 = \frac{l_{анк}}{r_{скв}}$
1	2,0	0,5	3,0	35	
2	2,0	1,0	4,0	35	
3	2,0	1,5	5,0	35	
4	2,0	2,0	6,0	35	
5	2,0	2,5	7,0	35	
6	2,0	3,5	9,0	35	
7	2,0	4,0	10,0	35	
8	2,0	5,0	12,0	35	

Распределение нормальных осевых напряжений по длине заделанной в бетон части анкера в зависимости от толщины клеевого слоя, полученное в результате расчета, представлено на рис. 1, на котором кривые 1 – для толщины клеевого слоя  $\delta = 0,5$  см; 2 – для  $\delta = 1,0$  см; 3 – для  $\delta = 1,5$  см; 4 – для  $\delta = 2,0$  см; 5 – для  $\delta = 2,5$  см; 6 – для  $\delta = 3,5$  см; 7 – для  $\delta = 4,0$  см; 8 – для  $\delta = 5,0$  см.

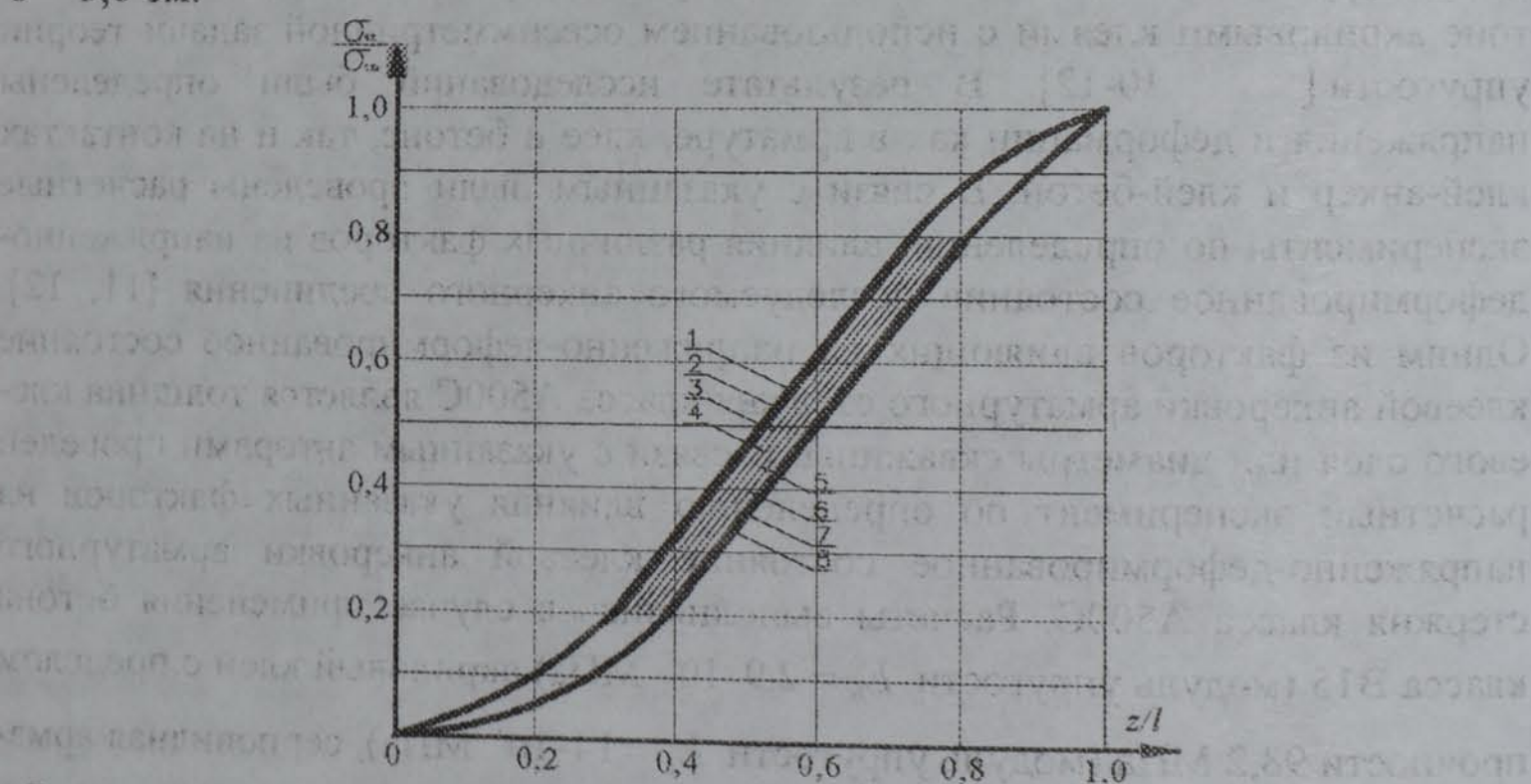


Рис. 1. Распределение нормальных осевых напряжений по длине заделанной в бетон части анкера в зависимости от толщины клеевого слоя:

где 1 –  $\delta = 0,5$  см; 2 – 1 см; 3 – 1,5 см; 4 – 2,0 см; 5 – 2,5 см; 6 – 3,5 см; 7 – 4 см; 8 – 5 см

Анализ эпюр распределения нормальных осевых напряжений в арматурном стержне по длине его заделки говорит о следующем. Качественно характер напряжений не меняется в зависимости от толщины клеевого слоя. Одна-



ко величина этих напряжений по мере увеличения толщины клеевого слоя уменьшается в среднем на 12%.

На рис. 2 представлены графики зависимости от толщины клеевого слоя максимумов касательных  $\tau_{rz}$ , нормальных осевых  $\sigma_{bz}$ , радиальных  $\sigma_r$  и окружных, а также значения минимумов  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  напряжений в клее соответственно на контактах клей-анкер и клей-бетон.

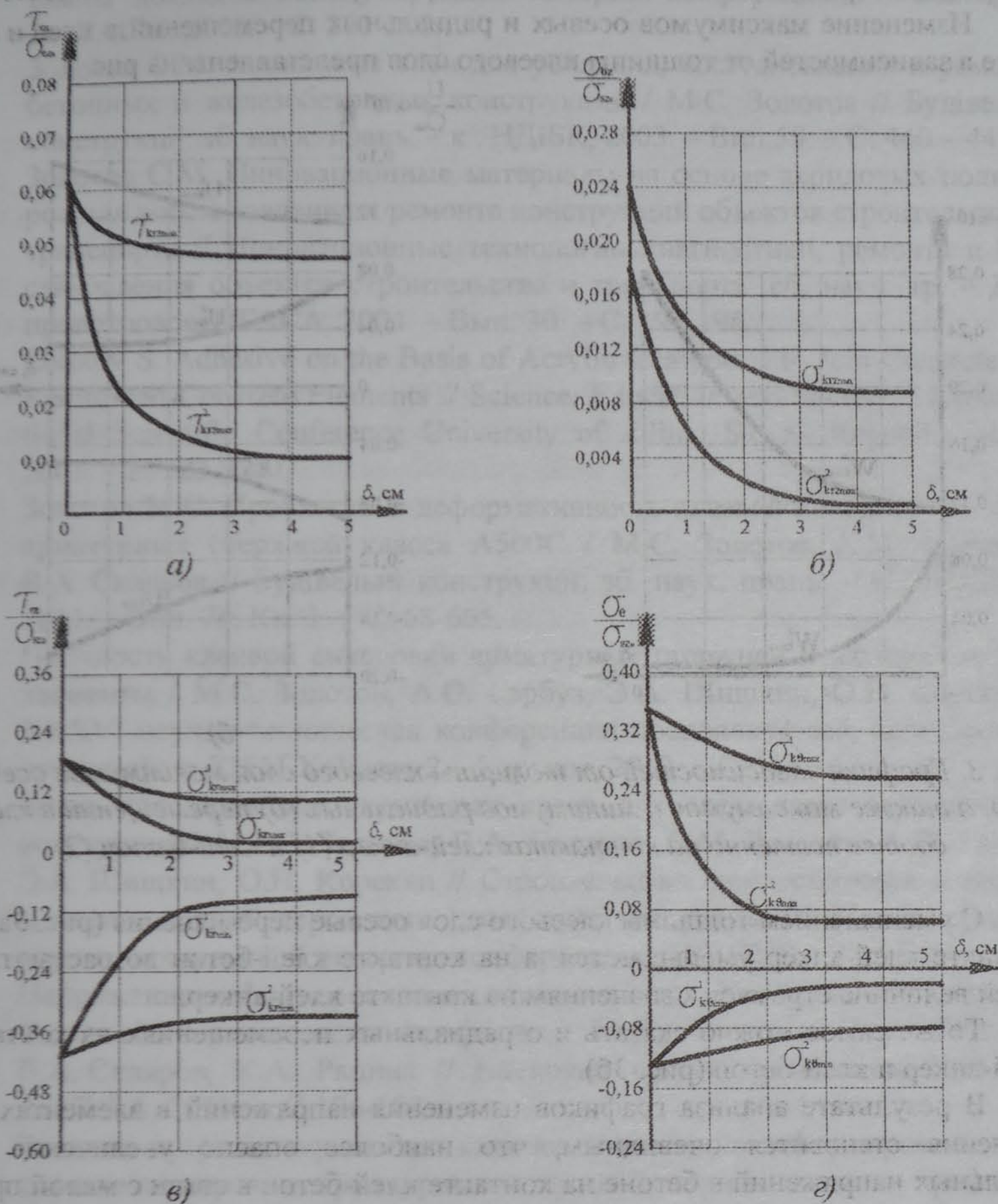


Рис. 2. Графики зависимостей от толщины клеевого слоя максимумов касательных (а), нормальных осевых (б), радиальных (в) и окружных (г), а также их минимумов (в, г) в клее соответственно на контактах клей-анкер (1) и клей-бетон (2)

Анализ результатов показывает, что с уменьшением толщины слоя наблюдается изменение напряженного состояния анкерного соединения. Ка-



сательные напряжения (рис. 2а) резко возрастают как на контакте клей-анкер, так и на контакте клей-бетон. Нормальные осевые напряжения (рис. 2б) на контакте клей-анкер возрастают более резко, чем на контакте клей-бетон. Радиальные напряжения на контакте клей-анкер также возрастают (рис. 2в), но не менее резко и превышают радиальные напряжения на контакте клей-бетон приблизительно на одну и ту же величину. Характер изменения окружных напряжений (рис. 2г) носит аналогичный характер.

Изменение максимумов осевых и радиальных перемещений в клее и бетоне в зависимости от толщины клеевого слоя представлены на рис. 3.

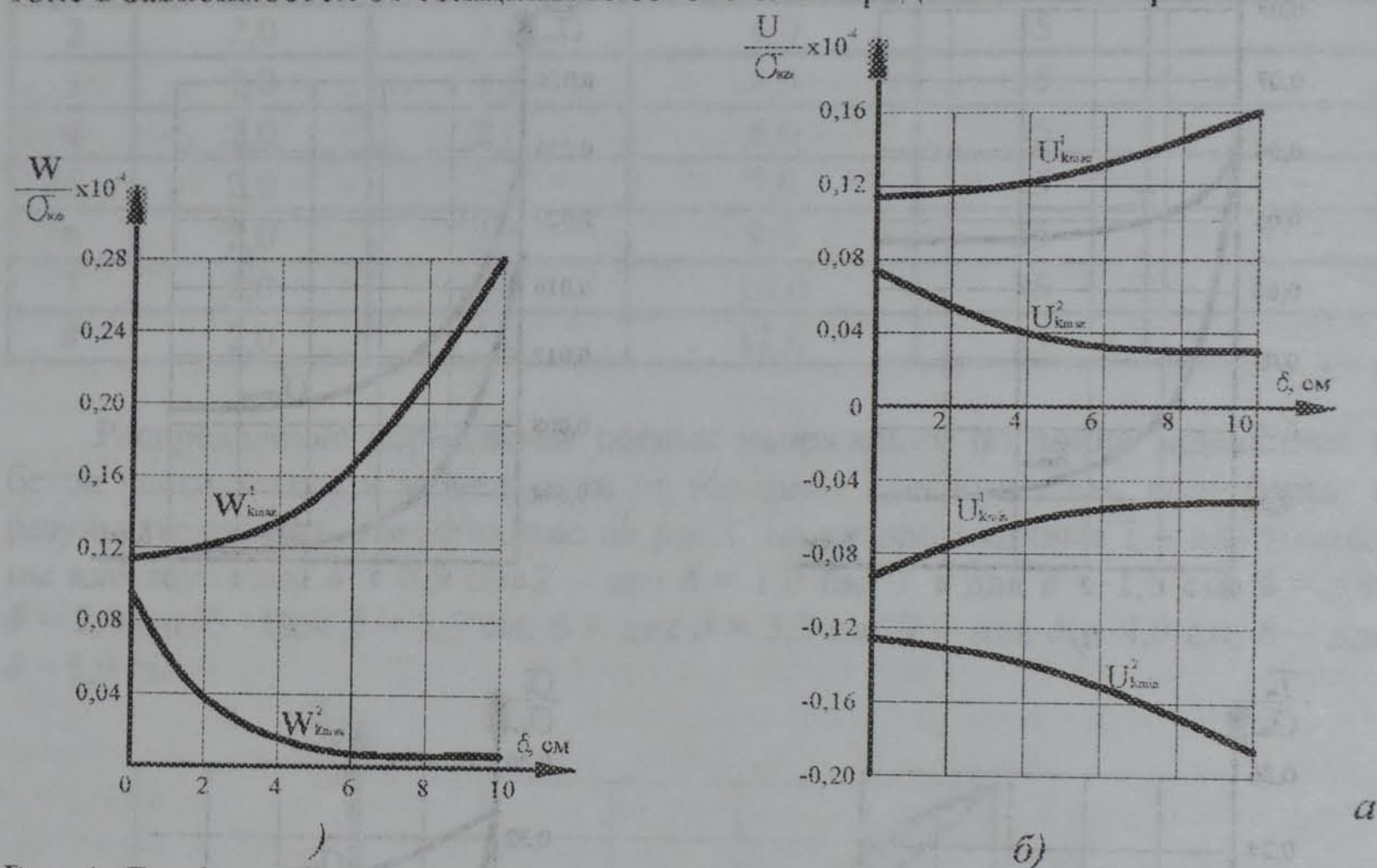


Рис. 3. Графики зависимостей от толщины клеевого слоя максимумов осевых (а), а также максимумов и минимумов радиальных (б) перемещений в клее соответственно на контактах клей-анкер (1) и клей-бетон (2)

С уменьшением толщины клеевого слоя осевые перемещения (рис. 3а) на контакте клей-анкер уменьшаются, а на контакте клей-бетон возрастают, по своей величине стремясь к значениям на контакте клей-анкер.

То же самое можно сказать и о радиальных перемещениях на контакте клей-анкер и клей-бетон (рис. 3б).

В результате анализа графиков изменения напряжений в элементах соединения становится очевидным, что наиболее опасно увеличение касательных напряжений в бетоне на контакте клей-бетон в связи с малой прочностью бетона на срез и растяжение. Следовательно, при толщинах клеевого слоя близкому к нулевому значению может произойти разрушение соединения на контакте клей-бетон по бетону.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. — М.: Химия, 1981. — 270 с.



2. Treasaway K.W. Performance of fusion – bonded epoxe-coateg steel reinforcemen / K.W.Treasaway, H.T. Davis // Structural engineer. – 1999. – Vol. 67. – № 2. – P. 31-59.
3. Шутенко Л.Н. Акриловые клеи для соединения бетонных и железобетонных конструкций / Л.Н. Шутенко, С.М. Золотов, А.О. Гарбуз, О.В. Зудов // Архитектура – строительное материаловедение на рубеже веков: материалы докладов Международной интернет-конференции. – Белгород: БелТАСМ, 2002. – С. 201-205.
4. Золотов С.М. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций / М.С. Золотов // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – к.: НДІБК, 2003. – Вип.59. – С. 440 – 447.
5. Золотов С.М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта: сб. науч. тр. – Днепрпетровск: ПГАСА, 2004. – Вып. 30. – С. 192-196.
6. Zolotov S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements // Science, Education and Society: 11 International Scientific Conference University of Zilina. Slovak Republic, part I, 2003. – P. 323-325.
7. Золотов М.С. Прочность и деформативность клеевой анкеровки в бетон арматурных стержней класса А500С / М.С. Золотов, Л.М. Шутенко, В.А. Скляр // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2011. – Вип. 74. Кн. 1. – С. 68-665.
8. Прочность клеевой анкеровки арматурных стержней в железобетонные элементы / М.С. Золотов, А.О. Гарбуз, Э.А. Шишкин, О.Н. Корекия // XXXVI научно-техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. Часть 2 – Харьков, 2012. – С. 165-167.
9. Опыт использования акриловых клеев для соединения строительных конструкций / М.С. Золотов, В.А. Скляр, С.М. Золотов, А.О. Гарбуз, Э.А. Шишкин, О.Н. Корекия // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III Международной научно-технической интернет-конференции. – Х., 2012. – С. 15-20.
10. Напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, К.А. Рапина // Науковий вісник будівництва Вип. 66.: ХДТУБА, 2011. – С.176-183.
11. Влияние возраста акрилового клея на напряженно-деформированное состояние анкеровки арматурных стержней периодического профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, О.Н. Корекия // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2012. – Вип. 67. – С.159-165.
12. Золотов М.С. Влияние глубины заделки арматурного стержня серповидного профиля на напряженно-деформируемое состояние анкерного соединения на акриловых клеях / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Х.: ХНАМГ, 2012. – Вип. 105. – С. 106-111.